

ve spodním a středním souvrství tvoří vesměs úlomky okolních hornin – vápenců a břidlic. Pokud se vyskytují  $\text{CaCO}_3$ -inkrustace, jde o půdní novotvary, jaké známe třeba ze spraší. Naproti tomu ve svrchním souvrství převládají pěnovecové inkrustace vzniklé ve vápnatých močálech a zarostlých pomalu tekoucích mělkých vodách, při čemž ve vrstvě 3 pěnovecová složka naprosto převládá, zatímco směrem k povrchu a zejména pak v půdě 1 vzrůstá podíl drobně klastické materiálu. V podložní vrstvě 4 jsou pěnovecové inkrustace zastoupeny již jen nepatrně, což by mohlo nasvědčovat skrytému hiátu v tomto úseku a bylo by i v souladu se sukcesí malakofauny.

Závěr vyplývající z našeho rozboru je jednoznačný: vý-

plň dnešního suchého údolí, které morfologicky zřetelně navazuje na staré mladoterciérní údolí Berounky, jehož dno leží zhruba 80 m nad dnešní řekou, odpovídá nejen holocénu, nýbrž i větší části viselského pleniglaciálu, při čemž lze předpokládat, že může zahrnovat i starší, přinejmenším časné glaciální vrstvy, neboť výkop nedosáhl skalního podloží. Údolí nebylo vždy suché. Ve starším pleniglaciálu zde dočasně protékal menší potok, který usadil šterky vrstvy 7, zatímco polohy 3 a 2 odpovídají vlhkému období klimatického optima holocénu, kdy zde nebyly pěnovecové močály. Je pravděpodobné, že podobný věk mají i výplně jiných suchých údolí v odpovídající geomorfologické pozici.

## GRANULOMETRIE KVARTÉRNÍCH SEDIMENTŮ V SOUTOKOVÉ OBLASTI MORAVY S DYJÍ

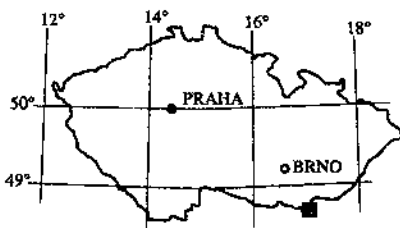
### Granulometry of Quaternary sediments in the confluence area of Morava and Dyje Rivers

SLÁVEK NEHYBA<sup>1</sup> – PAVEL HAVLÍČEK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Přírodovědecká fakulta Masarykovy university, Kotlářská 2, 611 37 Brno

<sup>2</sup> Český geologický ústav, Klárov 3/131, 118 21 Praha 1

(34-41 Moravský Ján, 34-23 Břeclav, 34-24 Holíč, 34-22 Hodonín)



**Key words:** Fluvial sandy gravels, Sand dunes, Quaternary, Late glacial, Grain-size analyses, Sedimentology

**Abstract:** The aeolian sands overlying the Upper Pleistocene fluvial sandy gravel in the valleys of both Morava and Dyje Rivers are typical for their confluence area. The characteristic dunes are dated to Late Glacial and has been proved the existence of Mesolithic to Slavonic settlements was evidenced. Aeolian and fluvial sediments were characterised by means of grain-size analyses.

V rámci grantu GA ČR č. 404/96/K089: „Sídlní aglomerace velkomoravských mocenských center v proměnách údolní nivy“ jsme se v roce 2000 zaměřili na zrnitostní složení fluviálních a zejména pak navátých písků v údolních nivách Dyje a Moravy. Naváté písky tvoří duny (hrůdy) o průměrné mocnosti písků 1–6 m. Tyto eolické sedimenty, vyváté převážně z podložních fluviálních písčitých šterků, na ně přímo nasedají. Na základě analogie s dalšími evropskými lokalitami probíhalo jejich ukládání převážně v pozdním glaciálu (ca od 12 000 let B. P.), místy jejich převívání pokračovalo až do spodního holocénu. Toto stratigrafické zařazení dokládají i nálezy mezolitické industrie

jak na povrchu navátých písků, tak i v hloubce 0,50–1,50 m u obcí Dolní Věstonice, Břeclav-Pohansko, Mikulčice (ŽEBERA 1958, KALOUSEK in FILIP 1966, KLÍMA 1970). Duny v údolních nivách byly osídlovány s různě dlouhými hiáty od mezolitu do 12. stol. n. l. Přibližně od 12. stol. n. l. se začaly ukládat ve větší míře povodňové hlíny, které zarovnalý údolní nivy do dnešní podoby. Při povodních byly některé duny částečně, jiné zcela, rozplaveny.

Tato práce navazuje na výzkum těžkých minerálů z navátých písků – hrůdů (HAVLÍČEK, NOVÁK 2001). Tyto eolické sedimenty byly rozděleny podle složení asociace průhledných těžkých minerálů do 3 skupin: 1) skupina s převahou amfibolu nad granátem, 2) skupina s převahou granátu nad amfibolem a 3) skupina s rovnováhou granátu a amfibolu. Rozdíly ve složení těžkého podílu lze vysvětlit separací při vlastním transportu horninového materiálu, nebo i primárním složením zdrojového materiálu.

Granulometrické studium kvartérních psamitických a psefitických sedimentů bylo provedeno síťovou analýzou. Hodnoty navážek i zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí na sítích je uvedeno v tabulce č. 1. Na základě získaných hodnot byly vykresleny zrnitostní křivky, klasifikovány horniny a vypočteny zrnitostní parametry (jak v mm tak jednotkách  $\Phi$ ). Bližší údaje o metodě a postupech viz KONTA (1972), KUKAL (1986), PETRÁNEK (1963), REINECK, SINGH (1980). Vypočtené zrnitostní parametry jsou uvedeny v tabulce č. 2. V literatuře snad nejčastěji používanou zrnitostní charakteristikou sedimentu je průměrná velikost zrna, která může být udávána různými způsoby. V tomto případě byl zvolen P50, t. j. velikost zrna odpovídající 50 % zastoupení na zrnitostní křivce, označovaný také jako medián (Md). Další skupina charakteristik popisuje vytřídění sedimentu. Vytřídění závisí na

Tab. 1.

navážka (g)	GR 1	GR 2	GR 3	GR-4	GR-5	GR-6	GR-14	GR-15	GR-16
	762,9	748,4	712,2	808,6	891,5	750,2	119,3	751,8	701,4
32-16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16-8	-	-	-	-	-	0,8	-	-	0,2
8-4	-	-	-	-	-	0,1	0,1	1,0	0,6
4-2	1,3	0,1	0,3	1,1	2,2	5,8	0,8	8,2	3,4
2,0-1,0	3,6	8,8	4,3	8,8	15,1	63,7	2,3	43,3	11,4
1,0-0,5	42,5	192,2	96,5	73,3	178,9	191,1	8,3	181,7	100,8
0,5-0,25	400,5	462,0	458,0	324,4	447,8	34,6	26,8	368,7	363,8
0,25-0,125	178,2	63,1	115,1	275,2	148,6	136,7	39,3	89,8	132,4
0,125-0,063	41,2	7,8	14,9	49,2	33,2	21,4	12,3	15,3	31,6
Pod 0,063	95,6	14,3	23,1	76,6	65,7	16	29,4	43,8	57,2

navážka (g)	GR-17	GR-19	GR-21	GR-23	GR-25	GR-26	GR-28
	776,5	824,6	3554,5	4506,9	932,1	749,1	702,1
32-16	-	-	731,3	681,4	-	-	-
16-8	-	-	787,0	1397,7	0,2	-	-
8-4	0,6	-	368,4	661,0	0,5	0,8	0,2
4-2	3,1	1,9	287,6	396,3	11,7	9,3	1,1
2-1	14,5	12,1	203,5	181,6	31,6	40,5	63,5
1-0,5	98,7	143,2	744,1	1066,7	149,7	147,9	74,7
0,5-0,25	333,4	336,4	333,3	60,3	403,9	324,1	387,9
0,25-0,125	170,5	206,2	46,5	13,1	138,0	116,9	152,8
0,125-0,063	55,6	45,6	5,7	2,7	45,2	24,0	24,5
Pod 0,063	100,1	79,2	47,2	46,1	151,3	85,6	54,5

navážka (g)	GR-36	GR-40	GR-44	GR-45	GR-46	GR-48	GR-54	GR-58	GR-60
	699,7	930,1	774,0	823,2	750,9	747	701,5	750,6	773,6
32-16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16-8	-	-	-	-	-	1,0	-	-	-
8-4	2,1	0,1	0,7	0,2	-	0,8	0,2	0,5	1,1
4-2	16,1	2,2	6,9	1,5	0,4	0,6	2,1	9,1	8,4
2-1	28,2	11,5	29,8	7,2	7,8	0,9	7,2	36,0	32,3
1-0,5	96,3	168,9	149,9	61,8	171,6	34,2	42,2	109,9	151,8
0,5-0,25	212,4	561,2	436,6	297,2	388,7	515,2	306,7	249,7	362,8
0,25-0,125	225,2	105,0	106,7	267,5	99,4	116,0	197,3	122,7	139,2
0,125-0,063	46,6	16,9	17,8	49,0	22,0	18,9	33,6	45,3	27,5
Pod 0,063	72,8	64,3	25,6	138,8	61,0	59,4	112,2	177,4	50,5

původu sedimentu, na způsobu transportu částic, na podmínkách ukládání a v podstatné míře na délce trvání pochodu, především transportu. Sem patří charakteristiky  $S_0$  a  $\sigma_1$ . Parametry charakterizující symetrii ukazují nakolik se zrnitostní křivka blíží normálnímu (ideálnímu) Gaussovskému rozdělení. Sem patří charakteristiky  $S_k$  a  $Sk_1$ . Parametry charakterizující špičatost, které svědčí o hojnosti zastoupe-

ní částic v maximální frakci jsou zastoupeny charakteristikami K a KG. Dosažené výsledky bylo možno srovnat s hodnotami, které byly získány při studiu kopané sondy (NEHYBA, HAVLÍČEK 1997) nebo při studiu sond zarážených v prostoru velkomoravského hradiště Mikulčice-Valy v letech 1996-2000. Především pro eolické sedimenty tak vznikl relativně rozsáhlý soubor granulometrických dat.

Tab. 2. Zrnitostní parametry studovaných sedimentů

Vzorek	P50 = Md (mm)	P50 = Md (M)	S <sub>0</sub>	σ <sub>1</sub>	S <sub>K</sub>	S <sub>K1</sub>	K	Kg
GR-1	0,27	1,9	1,6		0,88		0,26	
GR-2	0,39	1,4	1,4	0,6	0,98	0,58	0,33	0,93
GR-3	0,33	1,6	1,3	0,6	1,0	0,43	0,24	1,17
GR-4	0,25	2,0	1,6		0,97		0,28	
GR-5	0,33	1,6	1,5	1,16	0,99	2,04	0,27	1,78
GR-6	0,4	1,3	1,5	1,02	0,95	0	0,19	1,27
GR-14	0,18	2,5	2,1		0,72			
GR-15	0,39	1,35	1,4	1,03	0,97	1,05	0,2	1,74
GR-16	0,31	1,7	1,4		0,93		0,22	
GR-17	0,31	1,7	1,4	0,91	0,96	0,75	0,24	1,29
GR-19	0,33	1,6	1,5		0,9		0,25	
GR-21	5	-2,35	4,8	2,22	0,6	0,64	0,34	0,56
GR-23	6,1	-2,6	3,7	1,93	0,5	0,16	0,32	0,58
GR-25	0,3	1,75	1,6		0,9			
GR-26	0,31	1,7	1,5		1,1		0,21	
GR-28	0,3	1,75	1,4	1,19	1,0	2,53	0,23	1,85
GR-36	0,25	2,0	1,45		1,05		0,17	
GR-40	0,34	1,55	1,3	0,98	1,0	3,18	0,29	2,07
GR-44	0,36	1,45	1,4	0,89	1,0	0,79	0,3	1,57
GR-45	0,24	2,05	1,6		0,9			
GR-46	0,36	1,45	1,4		1,0		0,22	
GR-48	0,31	1,7	1,3	1,45	1,0	3,79	0,49	2,37
GR-54	0,26	1,95	1,5		0,9			
GR-58	0,28	2,05	2,5		0,6			
GR-60	0,3	1,75	1,5	1,1	1,1	0,67	0,23	1,47

Studované vzorky lze podle geneze rozdělit do dvou skupin. První, méně početná, je tvořena fluvialními štěrky, druhou, zcela dominující, pak tvoří sedimenty s významnou rolí eolického transportu.

Fluvialní písčité štěrky představují vzorky GR-21 a GR-23. Podíl psefitické frakce tvoří 69,6 % a 61,2 %, písčité frakce je zastoupena 29,4 % a 37,5 %. Sedimenty lze tedy klasifikovat jako písčité štěrky. Podíl zrnitostní frakce aleuriticko-pelitické se pohybuje kolem 1 %. Dominantní zrnitostní frakcí je v obou případech frakce 16,0–8,0 mm, které odpovídá i medián (6,1 mm a 5,0 mm). Nebyly zjištěny klasty nad 32 mm. Tyto sedimenty jsou zřetelně hrubozrnější než fluvialní sedimenty ověřené sondou T 1996. V rámci psefitické frakce vždy dominuje frakce hrubozrného písku, následována středozrným a velmi hrubozrným pískem. Jsou typické relativně nízkým stupněm vytřídění (výrazně nižší než eolické sedimenty, hodnoty S<sub>0</sub> 3,7 a 4,8 nebo σ<sub>1</sub> 2,22 a 1,93). Tyto hodnoty, ukazující na podobně nízké vytřídění, byly zjištěny také při hodnocení sedimentů v kopané sondě. Symetrie zrnitostní křivky je také relativně nízká S<sub>K</sub> 0,6 a 0,5, S<sub>K1</sub> 0,16 a 0,64. Hodnoty koeficientů ukazují, že tyto vzorky mají větší rozptyl jem-

nější frakce než medián (negativní symetrie). U fluvialních sedimentů ze sondy T 1996 byla naopak zjištěna symetrie pozitivní. Špičatost křivky pak má hodnoty K 0,34 a 0,32 a KG 0,58 a 0,56 a tyto hodnoty se poněkud liší od hodnot z kopané sondy T 1996 (K jsou vyšší, KG naopak nižší).

Druhou velkou skupinou byly psamitické sedimenty s výraznou rolí eolického procesu na jejich vzniku. Bližší hodnocení však ukazuje na poněkud složitější situaci. Ve studovaných vzorcích naprosto dominuje písčité frakce (98,1 % až 74,6 %), aleuriticko-pelitická frakce je zastoupena 24,6 % až 1,9 % a frakce psefitická pak 0 % až 2,6 %. Sedimenty lze tedy klasifikovat jako písky, prachovito-jílovité písky, či jílovito-prachovité písky. V rámci písčité frakce potom dominuje středozrný či jemnozrný písek, významná je v některých případech také role písku hrubozrného. Příměs hrubší frakce není pro klasifikaci významná, ukazuje však na genetické spojení s hrubozrnějšími sedimenty fluvialních štěrků. Maximální vzácně zjištěné klasty odpovídaly frakci 8,0–16,0 mm. Pro eolické sedimenty hraje velikost zrna v rámci psamitické akumulace důležitou roli především v mechanismu transportu. Medián

se pohyboval v poměrně širokém rozmezí (0,18–0,4 mm).

Tyto sedimenty jednoznačně vykazují vyšší hodnoty vyřídění než sedimenty fluvialní. Hodnota  $S_0$  se pohybovala obvykle v rozpětí 1,3–1,6, pouze ve dvou případech byla vyšší (2,1 a nad 2,5). To ukazuje na převahu dobře až velmi dobře vyříděných sedimentů. Prakticky identické hodnoty byly získány pro sedimenty z kopané sondy T 1996. Eolická činnost je známa svojí rolí při vyřídění sedimentu. Charakteristiky  $\sigma_1$  se nacházely v rozmezí 0,6–2,2 a jsou také obdobné jako pro kopanou sondu T 1996. U studovaných sedimentů se hodnoty symetrie  $S_x$  pohybovaly od 0,6 do 1,1, ale velmi často kolem jedné, což ukazuje na vysokou symetrii zrnitostní křivky. Případně se vyskytuje větší rozptyl jemnější frakce než medián (negativní symetrie). Také tento poznatek byl zaznamenán při studiu geneticky obdobných sedimentů ze sondy T 1996. Hodnoty  $Sk_1$  se pohybovaly v rozmezí 0,67–3,79.

Hodnoty strmosti křivky K jsou v rozmezí 0,17–0,49, většinou však nad 0,2. Hodnoty vcelku odpovídají výsledkům z rozboru sedimentů z T 1996. Hodnoty KG pak v rozmezí 0,93–2,37. Relativně velké rozpětí hodnot ukazuje na rozdílné uplatnění eolického transportu na formování jednotlivých sedimentů. Hodnoty ukazují na relativně značnou strmost (leptokurticitu) křivky.

Zrnitostní parametry sedimentů jsou často užívány pro nejruznější genetické diagramy (viz např. REINECK, SINGH 1986). Zjištěné granulometrické parametry však leží mimo vytyčená genetická pole pro eolické sedimenty. Je to nejspíše způsobeno relativně malým uplatněním eolických pochodů v zájmové oblasti oproti typickým eolickým lokalitám (t. j. nejčastěji pouštním dunám).

## POZNÁMKY K PROCESŮM EOLICKÉ SEDIMENTACE ZJIŠTĚNÝM NA LOKALITĚ MIKULČICE-VALY

Na základě studia texturních znaků v rámci odkrytého profilu (T 1996) a na základě granulometrického studia můžeme konstatovat několik obecných poznatků o eolických procesech určujících tvorbu dun v zájmovém prostoru.

Látkově i prostorově je v zájmové oblasti doloženo, že duny vznikaly v návaznosti na fluvialní sedimentaci. Jakékoliv duny, t. j. akumulace psamitického materiálu, které jsou produktem eolické sedimentace, představují citlivý klimatický indikátor. Duny ve studovaném prostředí a měřítku odrážejí vztah mezi klimatem a dostatkem vhodného materiálu k vyvátí. Klima v tomto případě neznamená jen podmínky aridity, ale také úroveň hladiny podzemní vody. Periodické kolísání hladiny podzemní vody tak nejen určo-

valo sedimentární procesy oblasti, ale také způsobilo, že duny byly částečně tzv. připoutané (adheze) a jejich migrace byla nejspíše málo výrazná.

Vznik eolických sedimentů je podmíněn především citlivou kombinací tří podmínek – nedostatečné stabilizace substrátu, dostatečné větrné energie a dostatku písečné frakce. Pokud bez jakýchkoliv extrémních klimatických vlivů dojde k úbytku písečné frakce a to z různých důvodů, dojde také k přerušení projevů eolické činnosti v sedimentárním záznamu a okolní prostředí expanduje přes původní eolické sedimenty. V zájmové oblasti se mohlo množství materiálu vhodného k eolickému transportu v čase výrazně měnit. Tento materiál byl navíc proměnlivě stabilizován (hladina podzemní vody).

Nejsnadněji se při větrném proudění pohybují saltací písečná zrna o průměru 0,1–0,3 mm. Hrubší zrna se pohybují spíše povrchovým krípem a to především během epizod velmi silných větrů. Navíc platí, že eolická činnost je charakteristická selektivním transportem různě velkých částic. Podíváme-li se na průměrnou velikost v rámci eolického transportu zjistíme hodnoty, které jsou velmi blízké svrchní hranici zrn, pohybujících se snadno saltací, za relativně silného větrného proudění, typu dun zvaných „zibars“. Jedná se o duny oválného tvaru s mírným reliéfem, materiál je tvořen zrny příliš velkými pro duny se šikmým zvrstvením velké škály na závětrné straně („slipfaces“). Průměrná velikost písečných zrn je ve frakci 0,3–0,7 mm a pohyb těchto částic je většinou povrchovým krípem.

Tato tělesa odrážejí různou zrnitost psamitů, proměnlivou energii větru, proměnlivé množství sedimentu, různou stabilizaci povrchu i proměnlivou morfologii.

## Literatura

- HAVLÍČEK, P. – NOVÁK, Z. (2001): Kvartér soutokové oblasti Moravy a Dyje. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 1999. ČGÚ (v tisku). Praha.
- KALOUSEK, P. in FILIP, J. (1966): Habitat mésolithique à Pohansko près de Břeclav (Moravie). – In FILIP, J.: Investigations archéologiques en Tchécoslovaquie, 39. Prague.
- KLÍMA, B. (1970): Štípaná kamenná industrie z Mikulčic. – Památky archeol., LXI. Praha.
- KONTA, J. (1972): Kvantitativní systém reziduálních hornin, sedimentů a vulkanoklastických usazenin. – Univ. Karlova, 375. Praha.
- KUKAL, Z. (1986): Základy sedimentologie. – Academia, 466. Praha.
- NEHYBA, S. – HAVLÍČEK, P. (1997): Kvartérné geologické, sedimentologické a sedimentárně petrografické výzkumy v Mikulčicích, okres Hodonín. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 1997, 157–158. Praha.
- PETRÁNEK, J. (1963): Usazené horniny, jejich složení, vznik a ložiska. – Nakl. ČSAV, 717. Praha.
- REINECK, H. E. – SINGH, I. B. (1980): Depositional sedimentary environments. – Springer, 549. Berlin – Heidelberg – New York.
- ŽEBERA, K. (1958): Československo ve starší době kamenné. – ÚÚG, NČSAV, 214, 1–88. Praha.